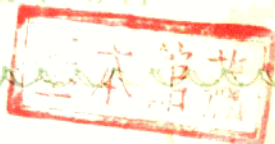


209861

高等学校教学用书



港口起重运输机 的电气设备

Ю. А. 列依高尔特著

高等教育出版社

高等学校教学用书



港口起重运输机 的电气设备

Ю. А. 列依高尔特著
王祖泽译

高等教育出版社

本書是根据苏联内河运输出版社 (Издательство речной транспорт) 出版的列依高尔特 (Ю. А. Рейнгольд) 所著“港口起重运输机的电气设备”(Электрическое оборудование портовых подъемно-транспортных машин) 1955 年版译出。原书经苏联内河运输部教育司批准为河运工程学院港口设备及港口机械系的教科书。

按照教学大纲的规定,在书中阐述了电力拖动的理论,电动机的控制和保护设备,起重机、电梯、蓄电池小车和连续运输机构的电气设备等问题。

原书是1946年出版的作者所著“起重运输机的电气设备”(Электрическое оборудование подъемно-транспортных машин)的第二版,旧版已由清华大学电工教研组译出,高等教育出版社出版。翻译新版时曾参阅旧版的译文。

港口起重运输机的电气设备

Ю. А. 列依高尔特著

王祖泽译

高等教育出版社出版 北京宣武门内大街26号

(北京市书刊出版业营业许可出字第054号)

上海国光印刷厂印刷 新华书店发行

统一书号 15010·646 开本 850×1168 1/32 印张 11 13/16

字数 294,000 印数 1—1,200 定价(10) 1.83

1958年12月第1版 1958年12月上海第1次印刷

再版序

本書是1946年出版的“起重運輸機的電氣設備”教本的再版，供河運工程學院港口機械系學生之用。

在準備再版時，書中所有材料都已按照起重運輸機電氣設備發展的現代水平予以徹底改寫和補充。

作者對評閱原稿並給作者許多寶貴建議的蘇聯科學院通訊院士技術科學博士 А. Е. 阿列克謝也夫 (Алексеев) 教授及技術科學副博士 Л. Н. 盧波金 (Лукин) 副教授表示深深的謝意。

作 者

初版序

本書供河運工程學院機械系學生的起重運輸機電氣設備課程作為教本之用。

由於該系學生只學過普通電工學簡明教程，作者認為有必要將結論與敘述盡量簡化，使讀者容易完全了解。

課程分為兩部分——一般部分與專業部分。在一般部分中（第一、二、三章）介紹在理論力學課程中已講過並為學習電力拖动時所必需的基本關係式，敘述電力拖动的原理並研究電動機控制與保護所用器具。在組成課程專業部分的其餘幾章中，研究拖动起重運輸機械所用電氣設備及電動機的控制綫路。

機械工程師的實際工作經驗證明，在電氣設備領域中對他們說來最感困難的是要看懂綫路圖，因此在課程的專業部分中我們將分析許多例題來對這種問題作特別詳盡的研究。

作 者

目 录

再版序

初版序

緒論 1

§ 1. 电力拖动及其发展 (1)

第一篇 电力拖理论基础

第一章 电动机的一般性能 8

§ 2. 电动机的运行状态 (8) § 3. 电动机的额定数据 (10) § 4. 电动机的拖动转矩及机械特性 (11) § 5. 损耗及效率 (11) § 6. 发热及冷却 (16) § 7. 运行温度 (21)

第二章 直流分激电动机 21

§ 8. 机械特性 (21) § 9. 起动 (24) § 10. 转速的调节 (27) § 11. 制动 (34) § 12. 反转 (33)

第三章 直流串激电动机 39

§ 13. 机械特性 (39) § 14. 起动 (41) § 15. 转速的调节 (43) § 16. 制动 (45) § 17. 反转 (43) § 18. 电动机的人工连接线路图 (48)

第四章 直流复激电动机 51

§ 19. 机械特性 (51) § 20. 转速的调节 (53) § 21. 起动、制动及反转 (53)

第五章 感应电动机 54

§ 22. 拖动转矩及机械特性 (54) § 23. 起动 (58) § 24. 转速的调节 (65) § 25. 制动 (63) § 26. 反转 (73) § 27. 功率因数 (73)

第六章 复杂的电力拖动 76

§ 28. 双电动机拖动 (76) § 29. 具有制动机电机的线路 (78) § 30. 电动机的同时启动 (80)

第七章 拖动力学 84

§ 31. 静态转矩对电动机轴的计算 (84) § 32. 旋转阻矩对电动机轴

(3)

- 折算(85) § 33. 飞轮惯量(86) § 34. 剩余转矩(87) § 35. 起动转矩(89) § 36. 制动转矩(89) § 37. 起动时间(91) § 38. 重物制动下降时加速时间的求法(102) § 39. 制动时间(105)

第八章 拖动装置电动机的选择 106

- § 40. 电动机选择的任务(106) § 41. 电动机种类的选择(107) § 42. 电动机构造的选择(110) § 43. 在各种运行状态时电动机功率的决定(112)

第二篇 电力拖动的控制

- § 44. 緒論(127)

第九章 电力拖动手动控制设备 128

- § 45. 隔离开关与转换开关(128) § 46. 控制器(129)

第十章 电力拖动自动控制设备 135

- § 47. 接触器概述(135) § 48. 直流接触器(136) § 49. 交流接触器(137) § 50. 主令控制器(139) § 51. 行程转换开关(140) § 52. 控制继电器(142) § 53. 时间继电器(142) § 54. 电压继电器(146) § 55. 电流继电器(146)

第十一章 电动机的保护设备 147

- § 56. 保护装置概述(147) § 57. 熔断保护设备(149) § 58. 用电磁式继电器的保护(150) § 59. 热继电器(151) § 60. 自动开关(152) § 61. 磁力起动器(152)

第十二章 变阻器与电阻 155

- § 62. 起动变阻器和起动调速变阻器(155) § 63. 电阻元件(159)

第十三章 电动机自动控制线路 160

- § 64. 线路图的构成及图示原则(160) § 65. 根据时间原则而起动(163) § 66. 根据电流数值而起动(171) § 67. 根据反电动势数值而起动(172) § 68. 制动自动控制的原则(173)

第三篇 港口起重机的电气设备

第十四章 起重机电气设备的元件 179

- § 69. 概述(179) § 70. 起重机用电动机(182) § 71. 起重机的保护装置(185) § 72. 终点开关(189) § 73. 控制机械制动装置用电器(190) § 74. 起重机的电流引入设备(200)

第十五章 起重机用电动机功率的决定 205

- § 75. 概述(205)

A. 相对暂用系数法 206

§ 76. 起升机构(206)	§ 77. 决定变幅机构电动机功率的一些特点(218)	
§ 78. 水平运移机构(小车、滑车)(219)		
B. 决定起重机电机功率的实用方法		223
§ 79. “负载不均匀系数”法(223)	§ 80. 盖犹凯-库尼茨基法(225)	
第十六章 起重机线路图		229
§ 81. 具有对称线路的交流鼓形控制器及凸轮控制器(231)	§ 82. 具有不对称线路的交流鼓形控制器(233)	
§ 83. 直流鼓形控制器和凸轮控制器(252)	§ 84. 具有对称线路的交流磁力制动器(258)	
§ 85. 具有不对称线路的交流磁力制动器(273)	§ 86. 直流磁力制动器(286)	
§ 87. 完整的起重机线路图(293)		
结论(第十四章至第十六章)		297
第十七章 特种起重机的电气设备		300
§ 88. 抓斗式起重机的电气设备(300)	§ 89. 起重电磁铁(315)	
§ 90. 装卸桥及龙门起重机的电气设备(323)		
第四篇 其他港口起重运输机的电气设备		
第十八章 电梯的电气设备		328
§ 91. 概述(328)	§ 92. 电梯电气设备的元件(331)	
§ 93. 电梯的线路图(335)		
第十九章 电葫芦的电气设备		341
§ 94. 电葫芦的装置(341)	§ 95. 电葫芦的联锁(346)	
第二十章 蓄电池小车和万能装卸机		349
§ 96. 蓄电池小车的装置(349)	§ 97. 电动小车的控制线路(352)	
§ 98. 万能装卸机(355)	§ 99. 蓄电池组及充电站(357)	
第二十一章 连续运输机构的电气设备		359
§ 100. 概述(359)	§ 101. 联锁装置(362)	
§ 102. 运输机的联锁线路(367)	§ 103. 谷合电气设备的特点(369)	
参考书目		372

緒 論

§ 1. 電力拖动及其發展

用來帶動工具機或其個別執行機構[⊖]并由電動機、機械傳動裝置及控制器具所組成的裝置稱為電力拖动。

和機械能的其它來源相比，電動機無可反駁的優越性使電動機普遍應用於拖动各種各樣工具機及執行機構。

在電動機出現以前，先是用水輪機而後用蒸汽機來實現拖动。在工廠中裝有一台或幾台蒸汽機，利用天軸傳動裝置把蒸汽機的機械能分配給工具機。那時候港口起重機也是由蒸汽機帶動的。

在電動機出現後的最初時期，電動機代替了蒸汽機而天軸傳動裝置仍保留未動。於是出現了電力天軸拖动，這種拖动和由蒸汽機帶動的天軸拖动比較起來主要的優點是操作略為簡化，費用減低以及電動機經常準備著運行。

以後，為了消滅笨重的天軸傳動裝置並減少機械傳動裝置中的能量損耗，就改用了組合電力拖动，這時單獨一台電動機帶動一組機床轉動。但是在此種情況下還不可能顯示出電動機作為機械能源的全部優點。只是在個別電動機裝在每個執行機構上時，這些優點才被發現而開始充分的利用。

這種單獨電力拖动可以不用天軸傳動裝置並且省掉約占由天軸傳動裝置傳送能量 50% 的損耗，而且提供了改進機床位置，改善車間內運輸工作等的可能性。

[⊖] 執行機構是從原文 *исполнительный механизм* 譯出，意即工作機構；但因下文還有 *рабочий орган*，也是工作機構，恐兩者相混故仍直譯出——譯者注。

需要指出,采用單獨拖动在那時碰到了很多工程師的阻力,他們認為所需增加的最初投資費用並不能由采用這種拖动方式所得的利益來補償。但是以後就證明,用天軸拖动與用單獨拖动的企業的最初投資費用大概是相同的。不久就顯著的看出單獨拖动的巨大力能的优越性。

於是,在發展過程中,電動機接近了機械的工作機構。開始是由天軸拖动轉變到組合拖动,而後再由組合拖动轉變到單獨拖动,而且後來肯定了,電動機同機械的工作機構連接得越密切,電力拖动的優點就利用得越充分,因為這時工具機的構造可以簡化而機器也變得更經濟而有效。以後出現了複雜機械的個別部分有專用電動機的設備。沿着這條道路產生了近代的多電機拖动,這時在一台工具機中應用若干台電動機,每台電動機用來拖动這台機器某一定的執行機構或是用於某一定工序。例如,在現代港口起重機中除了帶動卷揚機旋轉的起重電動機而外,還有執行下列操作的電動機:旋轉、改變扒杆幅度及運移起重機。

最初拖动電動機只是用來做為轉數不變的機械能源。工具機的所有控制及調速都是用機械方法進行。後來想到把利用塔輪及錐形皮帶輪,齒輪或調速箱等純粹機械方式的控制並調節工具機轉速的方法改變為利用電氣方法控制並調速。這時機構的轉速或者部分地用改變電動機轉速來調節而另一部分用機械方法(例如,用調速箱)來調節,或者只改變電動機的轉數來調節(例如,在近代電动的起重機中)。

這些發展方向使電動機及工具機進一步相互適應。電動機開始成為機構的有機的構造部分,電動機是專門為這一機構製造的,並且具有為了拖动這一機構所必需的特性和構造。例如,出現了特殊起重機用電動機。

這些電動機的許多優點使這種單獨拖动形式毫無例外地占據

了國民經濟所有部門。這些優點如下：

- (1)隨時都能投入運行；
- (2)能迅速的起動、調速、制動和停止；
- (3)可以在必需的範圍內平滑地或分級地調節轉速；
- (4)經濟性；
- (5)可以對拖動作遠距離及自動控制；
- (6)電氣檢測及統計機械工作的可能性；
- (7)可以減低對生產用建築物的投資；
- (8)使執行機構構造簡化，減輕而合理化；
- (9)生產速度的加快；
- (10)在車間內採用任何形式的廠內運輸的可能性；
- (11)使執行機構設備適合生產要求的可能性，而在工藝改變時可重新布置它們的可能性；
- (12)用簡單的方法保護工具機過載的可能性；
- (13)能量可簡單地引至機構。

當電力拖动使用正確，工具機與電動機配合得適當時，電力拖動的優點可以根本地改進生產過程並且增加產品的數量同時又提高產品的質量。

我們現在敘述一下俄羅斯科學家和技术家們的勞動，他們的發明和著作對於電力拖动問題有着直接的关系。

在1838年，俄羅斯科學院院士B. C. 雅可比(Якоби)採用了他在世界上最先發明的適用於工業應用的直流電動機來開動小船。這只電動小船順利地完成了沿彼得堡涅瓦河的航行。對電動機供電的電源是大型的賈法尼電池。在1840—1880年間在國外所進行的關於採用電力拖动的工作只是B. C. 雅可比理想的進一步發展。

1891年M. O. 多利沃·多勃羅沃利斯基的三相感應電動機

的發明對於電力拖动具有重大的意義。多利沃·多勃羅沃利斯基的同樣重要的功績還在於他第一個把 П. Н. 耶勃洛契柯夫 (Яблочков) 發明的變壓器 (1876 年) 應用於工業目的上去, 在世界上第一次實現了用三相電流把電能送到很遠的距離 (1891 年)。

那時在電力拖动領域中第一個理論性綜述的嘗試是在 1899 年出版的彼得堡電工學院教授 П. А. 沃伊納羅夫斯基 (Войнаровский) 的著作“電力輸送及機械能的分配”。在這項著作中從理論上論述了電能遠距離輸送以及電能在工業及運輸業中應用的問題。

1903 年出版了 В. В. 德米特里也夫 (Дмитриев) 的著作“機械能的電力分配及輸送”, 在這篇著作中指出了作為一門科學的拖動理論的主要特點。書中提出了關於天軸電力拖动及單獨電力拖动的概念, 研究了直流及交流電動機的特性, 電動機和工具機的連接方法以及決定電動機容量的方法。過了 12 年, 在 1915 年出版了上項著作的第二版, 在第二版中用很大篇幅討論了那時單獨電力拖动及組合電動拖动的現實性的比較。

但是, 這三本教科書還沒有關於電動機對電氣化工具機的構造所起的影響以及對工具機效能所起的影響的資料。

恩格斯差不多在 100 年以前就預見到電能應用到工業上的革命, 他寫道: “蒸汽機教會我們把熱能轉變為機械運動, 但是電的應用卻給我們指出另一條路, 使各種形式的能量可以由一種轉變為另一種並且把它們採用在工業中……因此生產力迅速增長, 而資產階級將愈來愈不能控制它。” (馬恩全集 27 卷, 俄文版 289 頁)

恩格斯所講的關於電力拖动能帶來的生產力的根本革命, 只有在電力拖动製造到工具機構造以內的條件下才能發生, 這個問題已經超越了電工學的範圍並且包括了機器製造業及機床製造業的巨大領域。當然, 這種革命在沙俄時是不可能的。沙俄官僚的

絕頂愚昧無知及愚蠢，統治階級對俄羅斯人民創造力的不信任，他們對任何進步事業的反抗，對西方國家的低首下心，使得在電工技術領域中很多俄羅斯科學家以及革新家的著作正像在其他以偉大發明豐富着人類的科學技術領域中一樣，在革命前的俄國都不曾獲得應有的承認。他們的姓名已被忘却，他們發明的優先權已為西歐國家的科學家所占有，而甚至在俄國，這項發明還被稱為“西歐”的新東西。只是在蘇維埃政權時代，俄羅斯科學家及革新家的優先權才被恢復，電工技術和電氣化開始在蘇聯的國民經濟中得到了充分的承認并被廣泛應用。按照 B. H. 列寧的指示，根據全蘇第九次黨代表大會的決議所擬成的俄羅斯電氣化國家計劃給予實現列寧的口號“共產主義就是蘇維埃政權加以全國電氣化”的工作以必要的方向。

作為共產主義物質基礎的電氣化在將我們國家改造為強大的工农盟國的斯大林五年計劃中獲得廣泛的發展。

列寧和斯大林把國家工業化了解為，不僅要建造巨大的電能基地並且要把國民經濟所有部門在最新的技術基礎上用近代大機器工業予以改造。由於電氣化，勞動減輕了並且勞動變得具有高度生產效能而又安全，就提高了勞動人民的福利及文化。因而，電氣化對於共產主義社會物質基礎的發展起着巨大的作用。

在資本主義國家中採用電力拖動特別是自動裝置，引起完全不同的結果。獲得最大利潤——這就是在資本主義國家中應用電力拖動，採用自動裝置，運用技術革新的唯一目的。所以，由於當時條件的不同，在某種場合會採用最新的技術而在另一場合卻採用手工勞動。例如，在資本主義國家的港口中（特別是在殖民地），當港口中有著停用的最好的機械而同時卻可以經常的看到人力裝船卸船。在同一種情況下，當資本家看到利益而在生產中採用自動化及電氣化時，這些改進必然使勞動條件惡化并使剝削加緊。

空出的工人加大了失業工人的隊伍，使工資繼續縮減，增加了生產工傷，工人變成機器的附屬品。這裡電氣化的發展必然使資本主義壓迫加重。

只有在擺脫了競爭與危機的社會主義計劃經濟下，電氣化在廣泛的國家規模中以及在系統的科学基礎上的發展才成為可能而必需。

1922年在以B. И. 列寧命名的列寧格勒電工學院中，在功勳的科学工作者技術科学博士С. А. 林開維奇(Ринкевич)教授的指導下創立了“工廠、製造廠及船舶電氣化”專業，而在1925年出版了С. А. 林開維奇的著作“機械能的電力分配”。在這本著作中，主要篇幅用來介紹電動機機械特性的研究以及它們對工具機生產率的影响。這裡已經提出蘇維埃科学家在蘇聯所創造的電力拖動理論的所有主要部分。1930年С. А. 林開維奇創立了世界上第一個電力拖動實驗室。

1930年，電力拖動領域中偉大的活動家技術科学博士符拉基米爾·康士坦丁諾維奇·波波夫教授在列寧格勒工業大學創立了“電力的工業應用”教研組。

1932年莫斯科動力學院設立了“電力拖動”教研組，近來這個教研組在電力拖動領域中佔據了首要地位之一。類似的教研組和專業在我國其他電工學院及動力學院中建立起來。蘇維埃科学家С. А. 林開維奇，В. К. 波波夫(Попов)，Р. Л. 阿羅諾夫(Аронов)，А. Т. 格洛萬(Голован)，Д. П. 莫羅佐夫(Морозов)，М. Г. 奇里金(Чиликин)，С. А. 波雷斯(Прессе)；В. И. 波朗斯基(Полонский)，Д. В. 瓦西里也夫(Васильев)的著作以及其他諸人的著作，創立了電力拖動的理論，根本地解決了在各種工業領域中應用電力拖動的問題。在研究起重運輸機電氣設備問題的領域中，蘇維埃科学家С. А. 波雷斯，А. В. 法捷也夫(Фатеев)，Н. И. 庫尼茨基

(Кушницкий)，以及德国工程师西別列尔 (Швоблер) 及吉魏克 (Гевек) 的著作有着偉大的貢獻。

蘇維埃科學在電力拖动方面的發展為蘇聯國民經濟各種工業及運輸業部門的電氣化領域準備了成千上萬的水平很高的專家。在先進的蘇維埃電機製造業及電器製造業基礎上，建立了起重運輸機、金屬切削機床、船舶機械、冶金及礦山工業、造紙機等等的完善的電力拖动。

在蘇聯所實現的由社會主義到共產主義的過渡，需要繼續發展電氣化。在我們社會發展的這個歷史階段中，對電力拖动科學提出了進一步使電動機與工具機緊密結構在一起並使生產過程進一步自動化的任務。很多工廠，科學研究機關以及設計院及學校團體正在研究如何順利解決這個問題。

第一篇 电力拖动理論基础

第一章 电动机的一般性能

§ 2. 电动机的运行状态

在电力拖动中电机的运行,或者是供給被拖动的机构以能量,而將能量消耗在克服由这机械所产生的阻力,或者是使这机构制动。

电机的运行状态分为两种:电动状态及制动(發電)状态。

当电机端子上引進在电动机內轉变成机械能的电能时,这种运行状态称为电动运行状态。当运行在电动状态时,电机的电磁轉矩是正的,因为这轉矩帮助电机旋轉。主要运行在这种状态的电机,通常称为电动机。

当电机軸上加入机械能,而机械能减去电机本身的损耗后在电机內变为电能时,这种运行状态称为制动(發電)运行状态。当运行在制动状态时,电机的电磁轉矩是負的,因为这轉矩妨碍电机旋轉。

在个别情况下运行在这种状态是利用电机作为电源。主要运行在这种状态的电机,通常称为發電机。在一定的条件下,每台电机都可以运行在两种状态中的任何一种。

电机的运行状态以及电机的負載完全由机械的运行条件以及电机軸上所傳遞轉矩的符号及数值来决定。

当电力拖动运行时,电机的軸上加有电机所發生的轉矩以及

通常称为靜态轉矩的由机械运动所产生的轉矩。

靜态轉矩可能是正值，也可能是負值。当轉矩的方向与拖动运动的方向重合时，当它帮助运动时，轉矩是正的。正的轉矩我們將称为运动轉矩或拖动轉矩。当轉矩的方向与运动方向相反时，即当轉矩妨碍拖动运动时，轉矩是負的。負的轉矩我們將称为阻力轉矩或制动轉矩。

在一般情况下，电机轉矩与靜态轉矩间的关系为：

$$\pm |M| \pm |M_e| = J \frac{d\omega}{dt},$$

式中 $|M|$ ——电机發出轉矩的絕對值，單位仟克米；

$|M_e|$ ——由机械所产生在电机軸上的靜态轉矩的絕對值，單位仟克米；

J ——折合到电机軸上的运动部分的慣性轉矩，單位仟克米秒²；

$\frac{d\omega}{dt}$ ——電動機的角加速度，單位弧度/秒²；

$J \frac{d\omega}{dt} = M_n$ ——电机軸上的动态轉矩或剩余轉矩，單位仟克米，這轉矩是系統的合成轉矩。

从方程式可看出，角加速度由动态轉矩的数值和符号来决定。

当 $\pm |M| \pm |M_e| > 0$ 时，角加速度 $\frac{d\omega}{dt} > 0$ ，因此發生加速的旋轉；当 $\pm |M| \pm |M_e| = 0$ 时，角加速度 $\frac{d\omega}{dt} = 0$ ；在这种情况下依穩定轉速旋轉；这个等式也用在拖动处于靜止状态的情况；当 $\pm |M| \pm |M_e| < 0$ 时，角加速度 $\frac{d\omega}{dt} < 0$ ，因此，發生減速的旋轉。

上面已經指出，靜态轉矩可能是制动轉矩也可能是运动轉矩，而由轉矩对拖动作用的特性来决定。由摩擦力，非彈性体的切削、压缩、牽伸及扭轉阻力以及起升重物的重力所引起的靜态轉矩永

远是負的而妨碍运动,但是在降落重物时,重力在电动机軸上产生正的轉矩(拖动轉矩)。静态轉矩也可能是許多有着不同符号的轉矩分量的总和。

在实际情况中最常碰見的是电机(电动机)的轉矩是正确的,而静态轉矩是負的,即

$$M - M_0 = J \frac{d\omega}{dt} = M_n.$$

当 $M > M_0$ 时,角加速度是正确的。拖动轉矩减去阻力轉矩的差 $M_n = J \frac{d\omega}{dt}$ (动态轉矩或剩余轉矩),完成机械的加速运行。因此,剩余轉矩克服慣性力,結果在机械中存储起动能,当电动机由静止状态下加速到轉速 ω 时,动能將等于

$$A_p = J \frac{\omega^2}{2} \text{ 仟克米.}$$

当电动机达到不变的轉速时,就停止存储动能。

应当考虑到,如果电动机在起动运转状态时它所發出的拖动轉矩只等于电动机軸上的阻力轉矩,拖动不能动作,因为没有剩余轉矩机构就不可能加速。

§ 3. 电动机的額定数据

工業上生产着各种功率的电动机——由十分之几瓩到几瓩:它們有不同的轉速、不同的用途、并且具有特殊的性能来满足不同經濟部門、甚至滿足个别机械特殊要求的各种用途的电动机。例如,生产着煤矿工業用的电动机,紡織工業用的电动机、起重机的电动机、为了裝入机床内部所用的电动机,以及其他各种电动机。

只有当电动机能运行在按照設計所規定的种种条件下,才能